



PATENT

Case Docket No. FUSO1.001AUS

Date: December 13, 2001

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants : Hitoshi Shimizu et al.  
App. No. : 09/918,018  
Filed : July 30, 2001  
For : SEMICONDUCTOR LASER  
DEVICE HAVING LOWER  
THRESHOLD CURRENT

I hereby certify that this correspondence and all  
marked attachments are being deposited with the  
United States Postal Service as first class mail in  
an envelope addressed to: Assistant Commissioner  
for Patents, Washington, D.C. 20231, on

December 13, 2001

(Date)

  
Mark J. Gallagher, Reg. No. 43,622

Group Art Unit : 2881

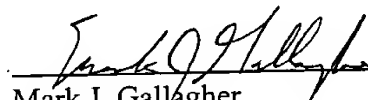
TRANSMITTAL LETTER

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

Dear Sir:

Enclosed for filing in the above-identified patent application are:

- (X) A certified copy of Japanese Application No. 2000-230553 filed on July 31, 2000.
- (X) A certified copy of Japanese Application No. 2001-124300 filed on April 23, 2001.
- (X) The Commissioner is hereby authorized to charge any additional fees which may be required, now or in the future, or credit any overpayment, to Account No. 11-1410.

  
Mark J. Gallagher  
Registration No. 43,622  
Attorney of Record

#2  
Priority  
K. G. G.  
5/8/02

RECEIVED  
FEB 27 2002  
10 2000 MAIL ROOM



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-230553

出 願 人

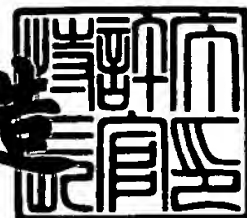
Applicant(s):

古河電気工業株式会社

2001年 6月15日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3056467

【書類名】 特許願

【整理番号】 A00256

【提出日】 平成12年 7月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 03/18

【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその作製方法

【請求項の数】 4

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

    【氏名】 清水 均

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

    【氏名】 熊田 浩二

【特許出願人】

    【識別番号】 000005290

    【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

    【代表者】 古河 潤之助

【代理人】

    【識別番号】 100096231

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 稲垣 清

【選任した代理人】

    【識別番号】 100095326

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 畑中 芳実

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 029388

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9305593

【包括委任状番号】 9302325

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその作製方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】  $GaAs$  基板上に、光を発生する活性層と、光を閉じ込めるクラッド層と、発生した光からレーザ光を得る共振器構造とを有する半導体レーザにおいて、

活性層が、高歪の  $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y}Sb_y$  井戸層（但し、 $0.003 \leq y \leq 0.008$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造として形成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】  $GaAs$  基板上に、光を発生する活性層と、光を閉じ込めるクラッド層と、発生した光からレーザ光を得る共振器構造とを有する半導体レーザにおいて、

活性層が、高歪の  $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y_1-y_2}N_{y_1}Sb_{y_2}$  井戸層（但し、 $y_1 < 0.03$ 、 $0.002 \leq y_2 \leq 0.025$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造として形成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 3】 高歪の  $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y}Sb_y$  井戸層（但し、 $0.003 \leq y \leq 0.008$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造の活性層を備える半導体レーザ素子の作製方法であって、

分子線エピタキシー法によりエピタキシャル成長させることを特徴とする半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項 4】 高歪の  $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y_1-y_2}N_{y_1}Sb_{y_2}$  井戸層（但し、 $y_1 < 0.03$ 、 $0.002 \leq y_2 \leq 0.025$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造の活性層を備える半導体レーザ素子の作製方法であって、

分子線エピタキシー法によりエピタキシャル成長させることを特徴とする半導体レーザ素子の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザ素子に関し、更に詳細には、低しきい値で、温度特性

に優れた、主として発光波長  $0.9\ \mu\text{m}$  から  $1.65\ \mu\text{m}$  の半導体レーザ素子、特に、波長  $1.2\ \mu\text{m}$  から  $1.3\ \mu\text{m}$  帯の長波長帯の半導体レーザ素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

発光波長  $1.2$  から  $1.3\ \mu\text{m}$  帯の半導体レーザ素子が、光通信加入者用のデバイスの光源として注目されている。

従来、発光波長  $1.3\ \mu\text{m}$  帯の半導体レーザ素子として、InP 基板上に形成された GaInAsP 系半導体レーザ素子が開発されているものの、この材料系は、しきい値の特性温度が  $50\text{K}\sim 70\text{K}$  と低く、温度特性が悪いことが問題になっている。

半導体レーザをデバイスの光源として各家庭に配置するためには、レーザ送信モジュールの低価格化が必要であって、冷却素子を必要としない、温度特性に優れた長波長帯半導体レーザが強く求められている。

【0003】

そこで、温度特性に優れた長波長帯半導体レーザの開発が鋭意進められていて、その一つとして、活性層として波長  $1.25\ \mu\text{m}$  から  $1.3\ \mu\text{m}$  帯の GaInNAs を用いた共振器構造を GaAs 基板上に形成することにより、特性温度を  $180\text{K}$  程度まで上げることができると報告されている〔1〕。そして、実験的にも、 $130\text{K}\sim 270\text{K}$  程度の高温度特性が確認されている。

〔1〕 M.Kondow et al., Jpn.J.Appl.Phys., vol.35(1996)pp.1273-1275

【0004】

また、発光波長  $1.2\ \mu\text{m}$  の高歪 GaInAs 半導体レーザ素子により、 $140\text{K}\sim 170\text{K}$  程度の高特性温度を実現したと報告されている〔2〕。尚、波長  $1.2\ \mu\text{m}$  帯半導体レーザは、市販の SM 光ファイバーのシングルモードに対するカットオフ波長が  $1.2\ \mu\text{m}$  であることから、LAN 用光源としても注目されている。

〔2〕 F.Koyama et al., IEEE Photon.Technol.Lett., vol.12(2000)pp.125-127

【0005】

ここで、図3を参照して、発光波長 $1.2\mu\text{m}$ の従来の高歪GaInAs半導体レーザ素子の構成を説明する。図3は発光波長 $1.2\mu\text{m}$ の従来の高歪GaInAs半導体レーザ素子のエピタキシャル構造の断面図である。

発光波長 $1.2\mu\text{m}$ の従来の高歪GaInAs半導体レーザ素子40は、例えば、図3に示すように、n-GaAs(100)面基板42上に、順次、成膜された、膜厚 $0.2\mu\text{m}$ のn-GaAsバッファ層44、膜厚 $1.5\mu\text{m}$ のn-InGaPクラッド層46、膜厚 $0.13\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層48、GaInAs活性層50、膜厚 $0.13\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層52、膜厚 $1.5\mu\text{m}$ のp-InGaPクラッド層54、及び膜厚 $0.35\mu\text{m}$ のp-GaAsコンタクト層56の積層構造を備えている。

#### 【0006】

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の波長 $1.2\mu\text{m}$ の高歪GaInAs半導体レーザ素子では、圧縮歪量2.8%程度という高歪系半導体層を活性層として用いているので、3次元成長が始まる臨界膜厚が4nm程度と薄く、実用的なプロセス条件では、波長 $1.12\mu\text{m}$ 程度以上に長波長化することは難しい。ここで、「高歪」とは、歪み量が1.5%以上の場合を指す。

#### 【0007】

また、GaInNAs半導体レーザ素子では、波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯で低しきい値化を実現するには、高歪GaInAs(In組成40%程度)にNをV族比で0.6%程度添加し、全体の歪量としては、やはり2.8%程度の歪量が必要である。

大きな歪量の問題に加えて、GaInNAs系は、原子半径の小さいNを構成元素として含むために、他のV族元素とうまく混合しないという問題があって、成長温度を低くして非平衡状態に近い状態で成長しないと、3次元成長してしまうという問題がある。低温成長させると、結晶欠陥が多数発生し、光学的品質の悪い結晶になってしまう。

#### 【0008】

このような実情に鑑み、本発明の目的は、高歪GaInAs系、及びGaln

AsN系の化合物半導体層の光学的及び結晶学的品質を向上させ、低しきい値で、且つ、特性温度の高い長波長帯半導体レーザを提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

ところで、高歪な材料層をエピタキシャル成長させるには、成長温度を低くする、V/III比を高くする、成長速度を高くする、サーファクタントを用いる等の方法がある。

サーファクタント〔3〕とは、Sb、Te、Sn等の、表面に偏析し易い元素を用いて、表面エネルギーを下げ、表面拡散距離を小さくして3次元成長を抑制しようという方法である。成長方式はMBE、MOCVD法で行われる。

〔3〕 M.Copel et al., Phys.Rev.Lett.vol.63(1989)pp.632-635

サーファクタントを用いる通常の成長方式では、高歪層を成長させる前に成長中断を行い、サーファクタントを1ML程度下地層上に積層する。続いて、高歪層を成長させる。高歪層の成長の際にはサーファクタントを添加せず、高歪層のみの材料で成長させる。つまり、高歪層の成長の際、サーファクタントは、最表面に偏析して、高歪層のエピタキシャル成長層には取り込まれない。

【0010】

本発明者は、高歪層の成長前にサーファクタントを下地層上に積層するのではなく、高歪層を成長する際に、III族と共に、V族比0.2%~3.5%程度の微量のSbを添加すること、つまり、1.2 $\mu$ m帯のGaInAs系半導体レーザ素子ではGaInAsSb層を、1.3 $\mu$ m帯のGaInNAs系半導体レーザ素子ではGaInNAsSb層を成長させることを考え、以下に述べる実験により、この有効性を実証して、本発明を発明するに至った。

【0011】

#### 実験例1

先ず、実験例1として、発光波長1.2 $\mu$ m帯の半導体レーザ素子を作製するに当たり、高歪GaIn<sub>0.39</sub>As/GaAs単一量子井戸(SQW)活性層を形成するために、GaInAsにSbを添加する実験を行った。

本実験では、図4に示すように、n-GaAs(100)面基板62上に、M



BE法によって、順次、膜厚 $0.2\mu\text{m}$ の $n\text{-GaAs}$  ( $n=2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) バッファ層64、膜厚 $0.25\mu\text{m}$ の $n\text{-In}_{0.484}\text{Ga}_{0.516}\text{P}$  ( $n=3\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層66、膜厚 $0.13\mu\text{m}$ の $\text{GaAs}$  光閉じ込め層68、 $\text{GaIn}_{0.39}\text{AsSb}/\text{GaAs}/\text{InGaP}$  単一量子井戸活性層70、膜厚 $0.13\mu\text{m}$ の $\text{GaAs}$  光閉じ込め層72、及び膜厚 $0.25\mu\text{m}$ の $p\text{-In}_{0.484}\text{Ga}_{0.516}\text{P}$  ( $p=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層74を成膜し、テスト積層構造体60を形成した。尚、MBE法に代えて、MOCVD法でも良い。

## 【0012】

$\text{GaIn}_{0.39}\text{As}$  単一量子井戸層は、圧縮歪2.8%という非常に高歪の材料である。ここでは、長波長化を考慮して、量子井戸層の設計膜厚を7.3nmとした。尚、 $\text{GaInAs}/\text{GaAs}$ 系について、J.W.Matthews及びA.E.Blakesleeの臨界膜厚とIn組成との関係を計算したところ、臨界膜厚は4nmであった。

本実験では、以下の条件で $\text{GaIn}_{0.39}\text{As}$  単一量子井戸活性層にのみSbを添加して $\text{GaInAsSb}$  単一量子井戸層を形成した。そして、Sbのフラックス(Torr)を種々変えて、Sbのフラックス量のフォトルミネッセンス(PL)依存性を調べ、図5に示す結果を得た。尚、フラックス(Torr)は、基板に入射する分子線強度を基板位置での分圧で表示したものである。以下も、同様である。

$\text{GaInAsSb}$ 層の成長条件は、

成膜チャンバ内の圧力 :  $9.0\times 10^{-5}\text{Torr}$

成長温度 :  $440^{\circ}\text{C}$

クラッキング後の $\text{AsH}_3$ のフラックス :  $8.5\times 10^{-5}\text{Torr}$

$\text{GaInAsSb}$ 井戸層の成長速度 :  $2.1\mu\text{m/hr}$

ここで、 $\text{AsH}_3$ 及び $\text{PH}_3$ は、基板に到達する前に $1000^{\circ}\text{C}$ で熱分解(クラッキング)して供給している。

## 【0013】

図5は、フォトルミネッセンス(PL)強度及びPL波長のSbフラックス量依存性を示している。図5から、Sbは高歪 $\text{GaInAs}$ 層の成長に有効であり

、最も高いPL強度を得るためには、 $2 \times 10^{-7}$ Torr以上 $5 \times 10^{-7}$ Torr以下程度のフラックスでSbを添加することが必要であると判った。

【0014】

### 実験例2

実験例2として、SbのGaInAs井戸層への取り込み量を調べるために、Sbのフラックスを種々に変えてGaAsSb層をエピタキシャル成長させ、GaAsSb膜中のSbの含有率(%)を調べ、図6にその結果を示した。実験例2での成長速度、 $AsH_3$ のフラックス、及び成長温度は、実験例1のGaInAsSb井戸層のエピタキシャル成長条件とほぼ同一に設定した。

Sbは、図6に示すように、 $5 \times 10^{-6}$ Torrのフラックスまで線形関係でGaAs膜に取り込まれた。このSb組成が、InGaAsSb中のSb組成と同一であると仮定して、GaInAsSbの量子準位を計算した結果を図5中に示す。この際、 $\Delta E_c = 0.7 \Delta E_g$ として計算した。Sbのフラックス量が $2 \times 10^{-6}$ Torrまでは、計算と比較的良好の一致を示した。

PL強度が最も強くなる $2 \times 10^{-7}$ Torr(実験例1参照)では、GaInAsSb膜の組成は $Ga_{0.61}In_{0.39}As_{0.9968}Sb_{0.0032}$ であって、微量のSbが膜に取り込まれることになる。従って、Sbは、サーファクタントして働くのではなく、GaInAs膜中に取り込まれ、サーファクタントライク(like)に振る舞うと言える。

図6から、Sbのフラックスが $2 \times 10^{-7}$ Torrの時に、Sb組成はV族組成比で0.32%であるので、高いPL強度を得るためには、図5からSbフラックスが $2 \times 10^{-7}$ Torr から $5 \times 10^{-7}$ Torr、すなわち、0.3%以上0.8%以下の範囲のSbの添加量が最適な量であると言える。

【0015】

### 実験例3

実験例3として、以下の成長条件で、Sbのフラックス(Torr)を種々変えて、GaInNAsSb層の成長実験を行い、図7に示す結果を得た。テスト構造は、単一量子井戸層を $GaIn_{0.39}AsN_{0.0044}Sb$ で構成することを除いて、実験例1の積層構造と同じである。

GaInAsNSb層の成長条件は、

成膜チャンバ内の圧力 :  $9.5 \times 10^{-5}$  Torr

成長温度 : 460℃

クラッキング後のAsH<sub>3</sub>のフラックス :  $8.5 \times 10^{-5}$  Torr

GaInAsNSb井戸層の成長速度 : 2.1 μm/h

【0016】

井戸層は、Sbが含まれていないとき、圧縮歪が2.7% (GaIn<sub>0.39</sub>AsN<sub>0.0044</sub>) であり、設計膜厚は7.3 nmとした。また、RFにより励起した窒素ラジカルを窒素原料とした。更に、結晶性を回復させるために、GaInNAsSb層の成長後に、窒素雰囲気中で半絶縁性GaAsウエハをP抜け防止キャップとしてエピタキシャル成長層側に面接触 (Face to Face) させて載せ、650℃で10分間アニールしている。

【0017】

図7はPL強度及びPL波長のSbフラックス量依存性を示す。図7から、 $5 \times 10^{-7}$  Torr以上 $1 \times 10^{-6}$  Torr以下程度のSbのフラックスが、高いPL強度を得る上で最適であることがわかる。

実験例2で述べた様に、同条件のGaAsSb層の成長から、Sbのフラックスが $1 \times 10^{-6}$  Torrの時に、Sb組成はV族比1.6%であり、N添加によるas-grownエピタキシャル成長層の波長シフトから、N組成はV族比0.44%と求まる。

実験例2と実験例3の結果から、組成に換算して、0.8%~1.6%のSbを添加することにより、GaInNAs層の光学特性が向上する。

【0018】

また、発光波長を1.3 μmに長波長化するためには、更にNを若干増加する必要があるが、その場合、Sb量を多少増加する必要が有る。組成によって最適なSb量は異なるが、N組成が多いほど最適Sb量は多くなる。

1.3 μm帯半導体レーザ素子のGaInNAs井戸層に必要なN組成は0.7%程度であるから、必要なSb組成は0.8%~2.5%程度である。2.5%は、上述の上限値1.6%に対してN量を考慮して求めている。つまり、

1. 6% (実験例3のSb量の最適値の最大値)

$\times \{0.7\% (1.3 \mu\text{m波長に必要なN量})\} / \{0.44\% (\text{実験例3のN量})\} = 2.5\%$ である。

また、逆に、例えば980nm帯半導体レーザ素子で低N組成のGaInNAsで井戸層を構成する場合には、必要なN量は実験例3における0.44%よりも少なくなるので、最適なSb量も少なくなり、0.2%~2%程度で良い。

【0019】

以上の実験及び実験結果の考察から、発光波長1.2 $\mu\text{m}$ 帯の高歪GaInAs系では、V族組成比0.3%以上0.8%以下の範囲でSbを構成元素としてGaInAs層の成長の際に添加し、GaInNAs系では、V族組成比0.2%以上2.5%以下の範囲のSbを構成元素としてGaInNAs層の成長の際に添加することにより、光学的品質を大幅に改善できることが判った。

ここで、N組成を上げると、結晶性が悪くなるので、実用上の限界として、NのV族組成比は、3%未満である。

【0020】

そこで、上記目的を達成するために、上述の知見に基づいて、本発明に係る半導体レーザ素子（以下、第1の発明と言う）は、GaAs基板上に、光を発生する活性層と、光を閉じ込めるクラッド層と、発生した光からレーザ光を得る共振器構造とを有する半導体レーザにおいて、

活性層が、高歪の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{Sb}_y$ 井戸層（但し、 $0.003 \leq y \leq 0.008$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造として形成されていることを特徴としている。

【0021】

また、本発明に係る別の半導体レーザ素子（以下、第2の発明と言う）は、GaAs基板上に、光を発生する活性層と、光を閉じ込めるクラッド層と、発生した光からレーザ光を得る共振器構造とを有する半導体レーザにおいて、

活性層が、高歪の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_{1-y_1-y_2}\text{N}_{y_1}\text{Sb}_{y_2}$ 井戸層（但し、 $y_1 < 0.03$ 、 $0.002 \leq y_2 \leq 0.025$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造として形成されていることを特徴としている。

## 【0022】

また、第1の発明の半導体レーザ素子の作製方法は、高歪の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{Sb}_y$ 井戸層（但し、 $0.003 \leq y \leq 0.008$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造の活性層を備える半導体レーザ素子の作製方法であって、

分子線エピタキシー法によりエピタキシャル成長させることを特徴としている。更には、第2の発明の半導体レーザ素子の作製方法は、高歪の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_{1-y_1-y_2}\text{N}_{y_1}\text{Sb}_{y_2}$ 井戸層（但し、 $y_1 < 0.03$ 、 $0.002 \leq y_2 \leq 0.025$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造の活性層を備える半導体レーザ素子の作製方法であって、

分子線エピタキシー法によりエピタキシャル成長させることを特徴としている。

以上の発明では、SCH構造、及び $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ を用いたGRIN (Graded Refractive Index) - SCH構造のいずれの光閉じ込め構造にも適用でき、また、導波路構造では、リッジ導波路型半導体レーザ素子、及び埋め込み型ヘテロ構造 (BH) 半導体レーザ素子のいずれにも適用できる。

また、N、Sbの量を調整することにより、波長980nm帯、1480nm帯、1550nm帯、1650nm帯の半導体レーザ素子にも適用できる。

## 【0023】

## 【発明の実施の形態】

以下に、添付図面を参照して、実施形態例に基づいて本発明をより詳細に説明する。

半導体レーザ素子の実施形態例1

本実施形態例は、第1の発明に係る半導体レーザ素子を発光波長1.2 $\mu\text{m}$ 帯GaInAs半導体レーザ素子に適用した実施形態の一例であって、図1は本実施形態例の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造を示す断面図である。

本実施形態例の半導体レーザ素子10は、図1に示すように、板厚100 $\mu\text{m}$ 程度のn-GaAs (100) 面基板12上に、順次、成膜された、膜厚0.5 $\mu\text{m}$ のn-GaAs ( $n = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) バッファ層14、膜厚1.5 $\mu\text{m}$ のn-In<sub>0.49</sub>Ga<sub>0.51</sub>P ( $n = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) クラッド層16、膜厚0.

1  $\mu\text{m}$  の GaAs 光閉じ込め層 18、GaInAsSb 単一量子井戸層を有する SQW 活性層 20、膜厚 0.1  $\mu\text{m}$  の GaAs 光閉じ込め層 22、及び膜厚 1.5  $\mu\text{m}$  の  $\text{p-In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$  ( $p = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) クラッド層 24、膜厚 0.3  $\mu\text{m}$  の  $\text{p-GaAs}$  ( $p = 3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ) コンタクト層 26 の積層構造を有する。

## 【0024】

SQW 活性層 20 は、圧縮歪 2.82% の  $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}_{0.9968}\text{Sb}_{0.0032}$  量子井戸層一層から構成され、井戸膜厚は 7.3 nm である。

GaInAsSb の条件

チャンバー圧力	: $9.0 \times 10^{-5} \text{Torr}$
成長温度	: $460^\circ\text{C}$
クラッキング後の $\text{AsH}_3$ のフラックス	: $8.5 \times 10^{-5} \text{Torr}$
GaInAsSb の成長速度	: $2.1 \mu\text{m/h}$
Sb のフラックス	: $2.0 \times 10^{-7} \text{Torr}$

各層は、ガスソース MBE 法、MBE 法、CBE 法、MOCVD 法のいずれかによってエピタキシャル成長する。

## 【0025】

図示しないが、本実施形態例の半導体レーザ素子は、上述の積層構造をフォトリソグラフィ処理及びメサエッチング加工によって、活性層幅 3  $\mu\text{m}$  のリッジ導波路型半導体レーザ素子として形成されている。

そして、コンタクト層 26 上には、p 側電極として Au-Zn または Ti/Pt/Au 等の積層金属膜からなるオーミック性電極が形成され、また n-GaAs 基板 12 の裏面には、n 側電極として Au-Ge/Ni/Au の積層金属膜からなるオーミック性電極が形成されている。

本実施形態例では、共振器長を 200  $\mu\text{m}$  とし、前端面反射率 78%、後端面反射率 95% の HR コーティングが施されている。

## 【0026】

そして、半導体レーザ素子試作品をボンディングして、光出力-注入電流特性を調べたところ、 $20^\circ\text{C}$  の電流しきい値は 6 mA、 $20^\circ\text{C}$  から  $70^\circ\text{C}$  のしきい値

の特性温度は 2 5 6 K、また、CW 発振波長は室温で 1. 2 0  $\mu$ m であった。

即ち、試作品の電流しきい値は、現在までに報告されている高歪 GaInAs 系半導体レーザの報告例中で最も低く、かつ、特性温度も従来のものに比べて著しく高いことが確認された。

#### 【 0 0 2 7 】

#### 半導体レーザ素子の実施形態例 2

本実施形態例は、第 2 の発明に係る半導体レーザ素子を発光波長 1. 2 5 ~ 1. 3  $\mu$ m 帯 GaInAsN 半導体レーザ素子に適用した実施形態の一例であって、図 2 は本実施形態例の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造を示す断面図である。

本実施形態例の半導体レーザ素子 3 0 は、図 2 に示すように、実施形態例 1 の半導体レーザ素子 1 0 の GaInAsSb 単一量子井戸層を有する SQW 活性層 2 0 に代えて、GaInAsNSb 単一量子井戸層を有する SQW 活性層 3 2 を備えていることを除いて、実施形態例 1 の半導体レーザ素子 1 0 と同じ構成を備えている。

SQW 活性層 3 2 は、圧縮歪 2. 8 1 % の  $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}_{0.9796}\text{N}_{0.0044}\text{Sb}_{0.016}$  量子井戸層一層から構成され、井戸膜厚は 7. 3 nm である。

#### 【 0 0 2 8 】

#### GaInNAsSb 層のエピタキシャル成長条件

チャンバー圧力	: 9. 5 $\times 10^{-5}$ Torr
成長温度	: 4 6 0 $^{\circ}\text{C}$
クラッキング後の $\text{AsH}_3$ のフラックス	: 8. 5 $\times 10^{-5}$ Torr
GaInAsNSb の成長速度	: 2. 1 $\mu\text{m/h}$
$\text{N}_2$ のフラックス	: 2. 0 $\times 10^{-6}$ Torr

#### 【 0 0 2 9 】

実施形態例 2 の半導体レーザ素子 3 0 と同じ構成の試作品を作製した。

そして、半導体レーザ素子試作品をボンディングして、光出力-注入電流特性を調べたところ、2 0  $^{\circ}\text{C}$  の電流しきい値は 1 0 mA、2 0  $^{\circ}\text{C}$  から 7 0  $^{\circ}\text{C}$  のしきい値の特性温度は 1 4 6 K、また、CW 発振波長は室温で 1. 2 6  $\mu$ m であった。

即ち、試作品の電流しきい値は、現在までに報告されている  $\text{GaInNAs}$  系半導体レーザの報告例中で最も低く、かつ、特性温度も従来のものに比べて著しく高いことが確認された。

#### 【0030】

実施形態例 1 及び 2 では、CW 発振波長が  $1.2\ \mu\text{m}$  又は  $1.26\ \mu\text{m}$  であったが、実施形態例で、N 組成及び Sb 組成を微調整することで、波長  $1.3\ \mu\text{m}$  の半導体レーザ素子を作製することができる。実施形態例 1、2 では、単一量子井戸構造を例として本発明を説明しているが、多重量子井戸 (MQW) 構造でも良い。

また、実施形態例 1 及び 2 では、活性層として、In 組成が 39% のものを用いたが、この In 組成は 15% から 45% 程度であることが好ましい。

#### 【0031】

実施形態例 1 及び 2 の量子井戸構造では、バリア層として格子整合した  $\text{GaAs}$  層を用いているが、歪系も含めた  $\text{GaInAsP}$  でも良い。

また、光閉じ込め層として  $\text{GaAs}$  層を用いているが、SCH 構造の代わりに  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  を用いた GRIN (Graded Refractive Index) - SCH 構造でも良い。クラッド層は  $\text{AlGaAs}$  でも良い。

実施形態例 1 及び 2 では、ストライプ半導体レーザ素子の構造として、リッジ導波路型半導体レーザ素子を例に示したが、埋め込み型ヘテロ構造 (BH) ストライプ型半導体レーザ素子等でも構わない。

また、実施形態例 1、2 では、波長  $1200\ \text{nm}$ 、波長  $1250\sim 1300\ \text{nm}$  帯の半導体レーザ素子を例として示したが、N、Sb の量を調整することにより、波長  $980\ \text{nm}$  帯、 $1480\ \text{nm}$  帯、 $1550\ \text{nm}$  帯、 $1650\ \text{nm}$  帯の半導体レーザ素子にも適用できる。

#### 【0032】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、高歪  $\text{GaInAs}$  井戸層や高歪  $\text{GaInNAs}$  井戸層に Sb を少量構成元素として添加することにより、井戸層の光学特性を向上させることができる。



これにより、発光波長  $0.9 \mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザ素子であって、低しきい値電流密度で、且つ、高温特性を有するペルチエフリーのアクセス向け半導体レーザ素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

実施形態例 1 の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造を示す断面図である。

【図 2】

実施形態例 2 の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造を示す断面図である。

【図 3】

発光波長  $1.2 \mu\text{m}$  の従来の高歪  $\text{GaInAs}$  半導体レーザ素子のエピタキシャル構造の断面図である。

【図 4】

テスト積層構造体のエピタキシャル構造を示す断面図である。

【図 5】

実験例 1 の結果を示す  $\text{GaInAsSb}/\text{GaAs}/\text{InGaP-SQW}$  の PL 特性の Sb フラックス量依存性を示すグラフである。

【図 6】

実験例 1 の結果を示す  $\text{GaAsSb}$  の Sb 組成と Sb フラックス量の関係を示すグラフである。

【図 7】

実験例 3 の結果を示す  $\text{GaInAsNSb}/\text{GaAs}/\text{InGaP-SQW}$  の PL 特性の Sb フラックス量依存性を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 0 実施形態例 1 の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造
- 1 2  $n\text{-GaAs}$  (100) 面基板
- 1 4 膜厚  $0.5 \mu\text{m}$  の  $n\text{-GaAs}$  ( $n = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) バッファ層
- 1 6 膜厚  $1.5 \mu\text{m}$  の  $n\text{-In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$  ( $n = 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) クラッド層
- 1 8 膜厚  $0.1 \mu\text{m}$  の  $\text{GaAs}$  光閉じ込め層

20 圧縮歪2.82%の $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}_{0.9968}\text{Sb}_{0.0032}$ 単一量子井戸層を有するSQW活性層

22 膜厚0.1 $\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層

24 膜厚1.5 $\mu\text{m}$ の $\text{p-In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$  ( $p=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層

26 膜厚0.3 $\mu\text{m}$ の $\text{p-GaAs}$  ( $p=3\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ) コンタクト層

30 実施形態例2の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造

32 圧縮歪2.81%の圧縮歪2.81%の $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}_{0.9796}\text{N}_{0.0044}\text{Sb}_{0.016}$  単一量子井戸層を有するSQW活性層

40 発光波長1.2 $\mu\text{m}$ の従来の高歪GaInAs半導体レーザ素子のエピタキシャル構造

42  $\text{n-GaAs}$  (100) 面基板

44 膜厚0.2 $\mu\text{m}$ の $\text{n-GaAs}$  バッファ層

46 膜厚1.5 $\mu\text{m}$ の $\text{n-InGaP}$  クラッド層

48 膜厚0.13 $\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層

50 GaInAs 活性層

52 膜厚0.13 $\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層

54 膜厚1.5 $\mu\text{m}$ の $\text{p-InGaP}$  クラッド層

56 膜厚0.35 $\mu\text{m}$ の $\text{p-GaAs}$  コンタクト層

60 テスト積層構造体

62  $\text{n-GaAs}$  (100) 面基板

64 膜厚0.2 $\mu\text{m}$ の $\text{n-GaAs}$  ( $n=2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) バッファ層

66 膜厚0.25 $\mu\text{m}$ の $\text{n-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{P}$  ( $n=3\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層

68 膜厚0.13 $\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層

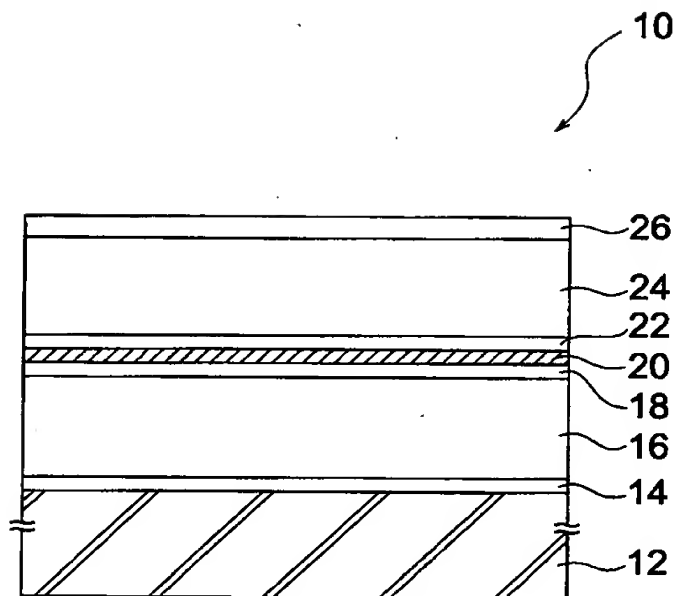
70  $\text{GaIn}_{0.39}\text{AsSb}/\text{GaAs}/\text{InGaP}$  単一量子井戸活性層

72 膜厚0.13 $\mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層

74 膜厚0.25 $\mu\text{m}$ の $\text{p-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{P}$  ( $p=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層

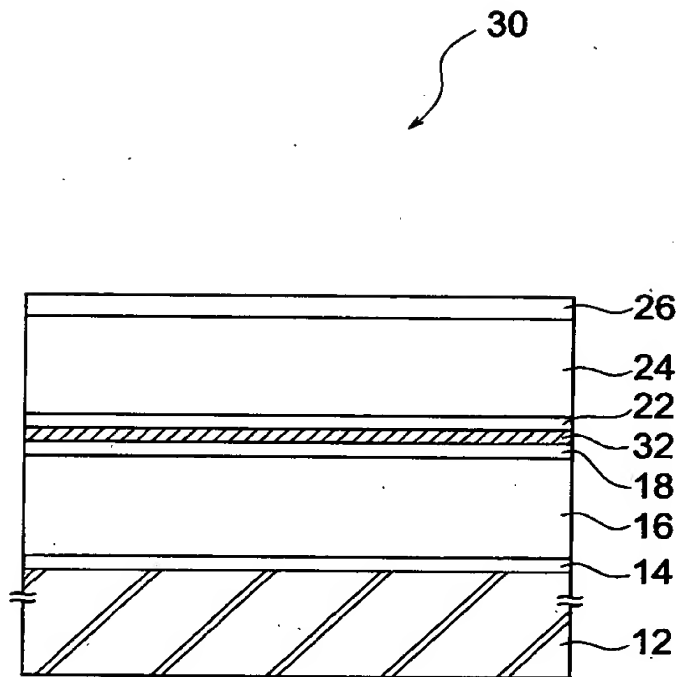
【書類名】 図面

【図 1】



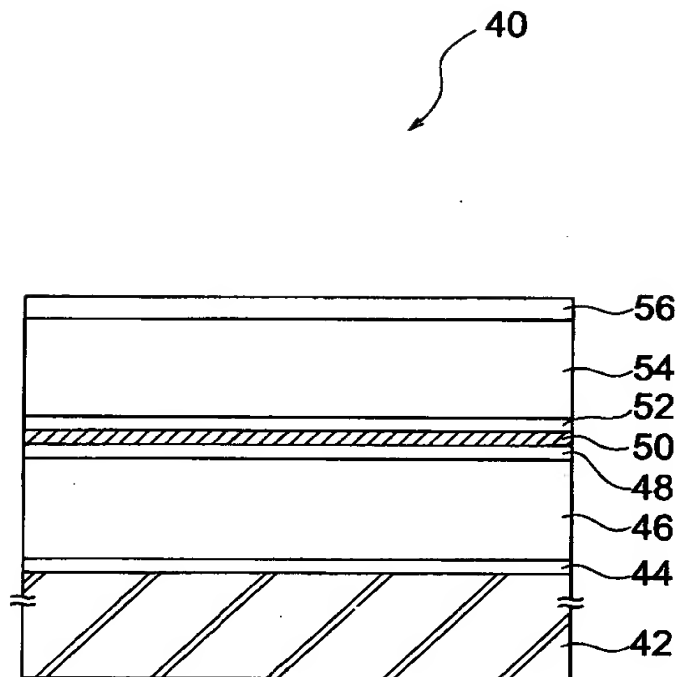
- 10 実施形態例1の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造
- 12  $n$ -GaAs (100)面基板
- 14 膜厚 $0.5\ \mu\text{m}$ の $n$ -GaAs ( $n=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )バッファ層
- 16 膜厚 $1.5\ \mu\text{m}$ の $n$ -In $_{0.49}$ Ga $_{0.51}$ P ( $n=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )クラッド層
- 18 膜厚 $0.1\ \mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層
- 20 圧縮歪 $2.82\%$ のGa $_{0.61}$ In $_{0.39}$ As $_{0.9968}$ Sb $_{0.0032}$ 単一量子井戸層を有するSQW活性層
- 22 膜厚 $0.1\ \mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層
- 24 膜厚 $1.5\ \mu\text{m}$ の $p$ -In $_{0.49}$ Ga $_{0.51}$ P ( $p=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )クラッド層
- 26 膜厚 $0.3\ \mu\text{m}$ の $p$ -GaAs ( $p=3\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ )コンタクト層

【図 2】



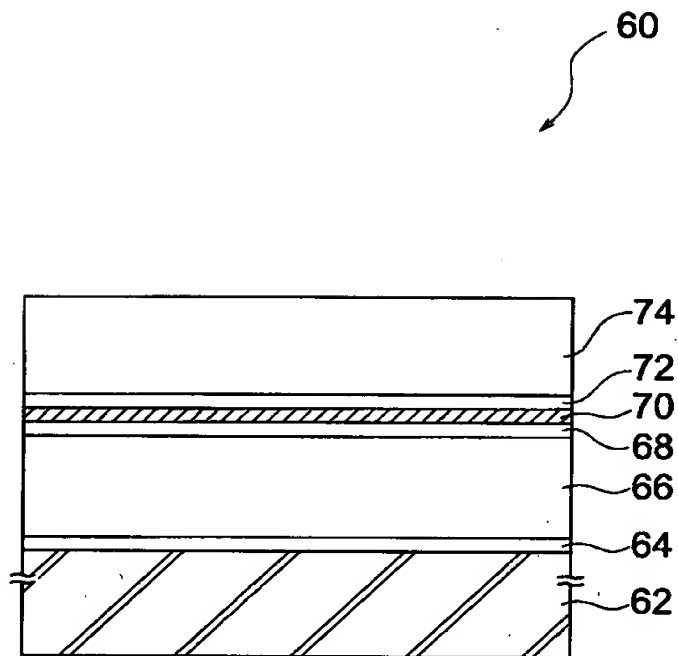
- 30 実施形態例2の半導体レーザ素子のエピタキシャル構造
- 12 n-GaAs (100)面基板
- 14 膜厚 $0.5\ \mu\text{m}$ のn-GaAs ( $n=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )バッファ層
- 16 膜厚 $1.5\ \mu\text{m}$ のn-In $_{0.47}$ Ga $_{0.53}$ P ( $n=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )クラッド層
- 18 膜厚 $0.1\ \mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層
- 32 圧縮歪2.81%の圧縮歪2.81%のGa $_{0.61}$ In $_{0.39}$ As $_{0.9796}$ N $_{0.0044}$ Sb $_{0.016}$ 単一量子井戸層を有するSQW活性層
- 22 膜厚 $0.1\ \mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層
- 24 膜厚 $1.5\ \mu\text{m}$ のp-In $_{0.47}$ Ga $_{0.53}$ P ( $p=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )クラッド層
- 26 膜厚 $0.3\ \mu\text{m}$ のp-GaAs ( $p=3\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ )コンタクト層

【図 3】



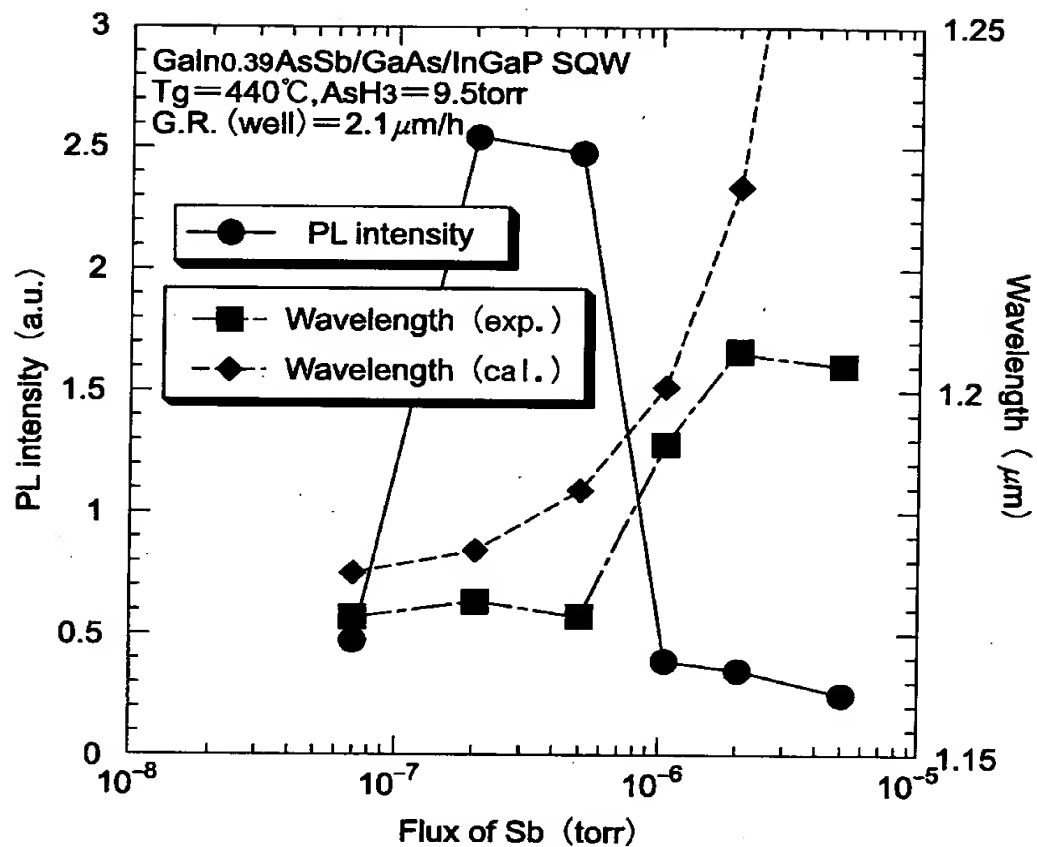
- 40 発光波長 $1.2\ \mu\text{m}$ の従来の高歪GaInAs半導体レーザ素子のエピタキシャル構造
- 42 n-GaAs (100)面基板
- 44 膜厚 $0.2\ \mu\text{m}$ のn-GaAsバッファ層
- 46 膜厚 $1.5\ \mu\text{m}$ のn-InGaPクラッド層
- 48 膜厚 $0.13\ \mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層
- 50 GaInAs活性層
- 52 膜厚 $0.13\ \mu\text{m}$ のGaAs光閉じ込め層
- 54 膜厚 $1.5\ \mu\text{m}$ のp-InGaPクラッド層
- 56 膜厚 $0.35\ \mu\text{m}$ のp-GaAsコンタクト層

【図4】

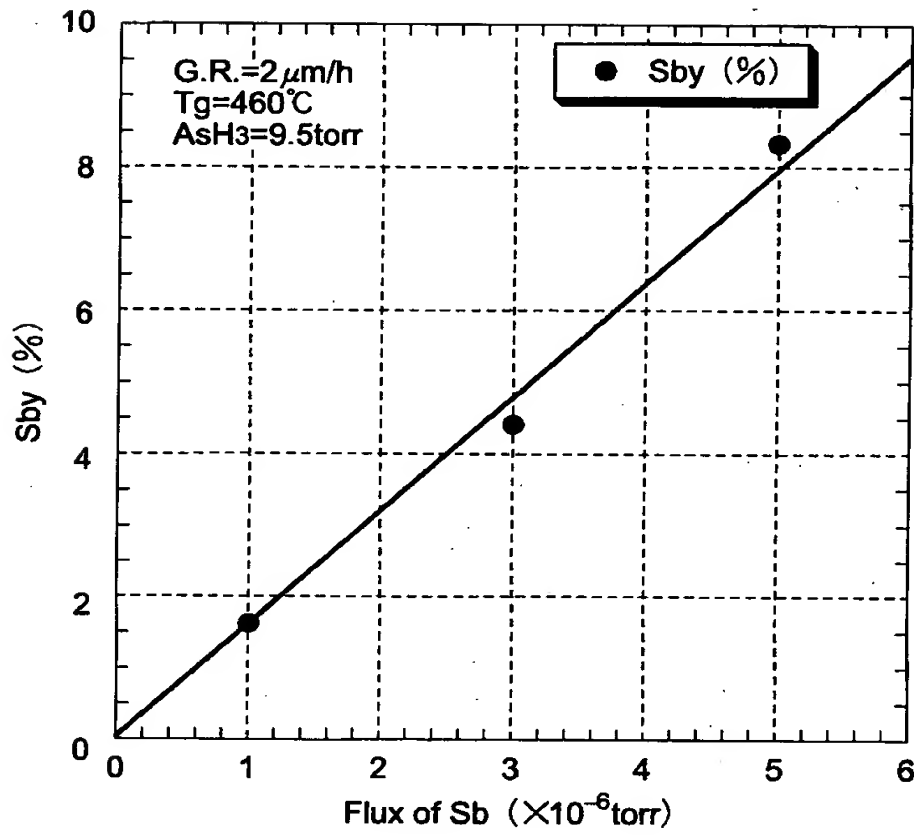


- 60 テスト積層構造体
- 62  $n\text{-GaAs (100)}$  面基板
- 64 膜厚  $0.2\ \mu\text{m}$  の  $n\text{-GaAs}$  ( $n=2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) バッファ層
- 66 膜厚  $0.25\ \mu\text{m}$  の  $n\text{-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{P}$  ( $n=3\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層
- 68 膜厚  $0.13\ \mu\text{m}$  の  $\text{GaAs}$  光閉じ込め層
- 70  $\text{GaIn}_{0.39}\text{AsSb}/\text{GaAs}/\text{InGaP}$  単一量子井戸層活性層
- 72 膜厚  $0.13\ \mu\text{m}$  の  $\text{GaAs}$  光閉じ込め層
- 74 膜厚  $0.25\ \mu\text{m}$  の  $p\text{-In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{P}$  ( $p=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ) クラッド層

【図 5】

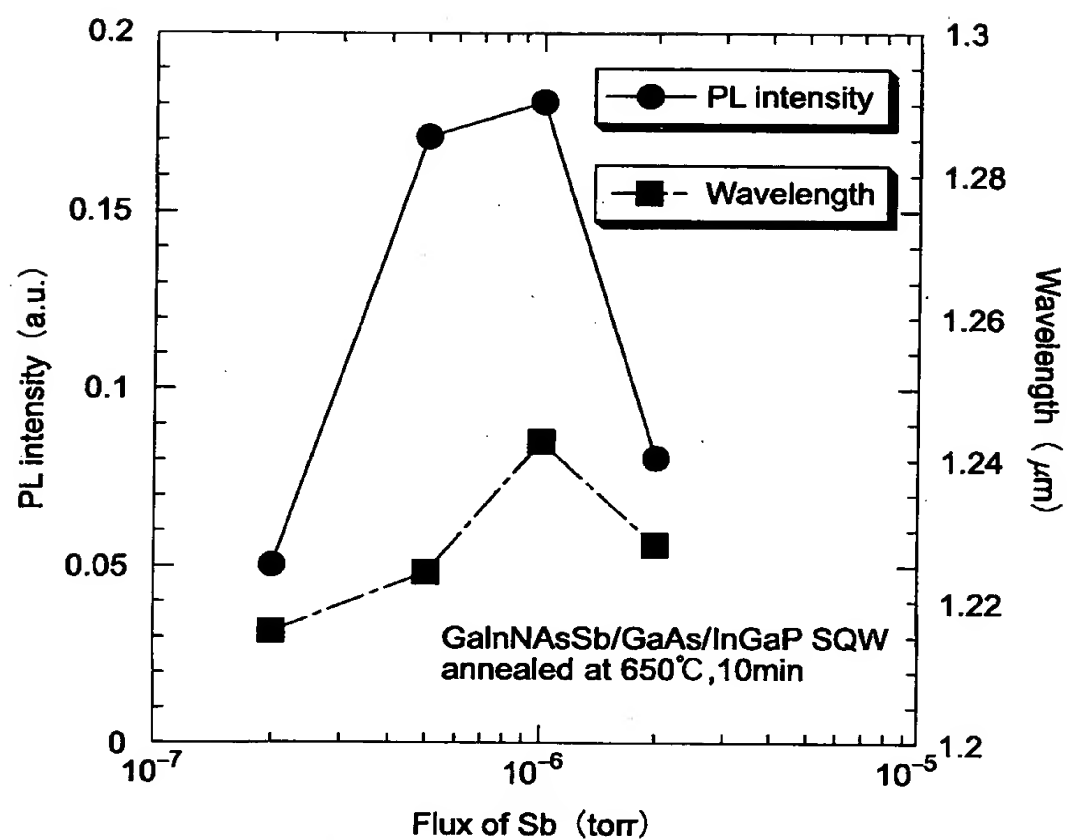


【図 6】





【図7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低しきい値で、且つ、特性温度の高い長波長帯半導体レーザを提供する。

【解決手段】 本半導体レーザ素子 10 は、活性層が高歪の  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{Sb}_y$  井戸層（但し、 $0.003 \leq y \leq 0.008$ ）を有する単一又は多重量子井戸構造として形成されている。本半導体レーザ素子は、例えば  $n\text{-GaAs}$ （100）面基板 12 上に、順次、成膜された、 $n\text{-GaAs}$ （ $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）バッファ層 14、 $n\text{-In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ （ $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層 16、 $\text{GaAs}$  光閉じ込め層 18、 $\text{GaInAsSb}$  単一量子井戸層を有する SQW 活性層 20、 $\text{GaAs}$  光閉じ込め層 22、及び  $p\text{-In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ （ $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層 24、 $p\text{-GaAs}$ （ $p=3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）コンタクト層 26 の積層構造を有する。SQW 活性層は、圧縮歪 2.82% の  $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}_{0.9968}\text{Sb}_{0.0032}$  量子井戸層の一層と、 $\text{GaAs}$  障壁層とから構成され、井戸は 7.3 nm である。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日 1990年 8月29日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号  
氏 名 古河電気工業株式会社